KALI-BRIEFE (Büntehof) **16** (9) 565–571 (1983)

Mineralstoffversorgung vermutlich immissionsgeschädigter Bäume in NO-Bayern

W. Zech, Th. Suttner und R. Kotschenreuther

Zusammenfassung

Bekannt ist, daß Fichtenbestände in den Hochlagen der NO-bayerischen Mittelgebirge seit etwa 1980 großflächig an Magnesiummangel leiden. Da die Nadeln bis zu 3000 ppm Schwefel enthalten, liegt wahrscheinlich ein immissionsbedingter Defekt vor.

Nicht bekannt ist bzw. war, ob die Waldschäden in den tieferen Lagen NO-Bayerns ebenfalls mit einer typischen Veränderung des Ernährungszustandes einhergehen. Unsere nadelanalytischen Befunde weisen auf Kaliummangel hin. Sowohl der Mg- wie der K-Mangel können als Folge direkter SO_2-Einwirkungen auf die Blätter entstehen; auch indirekte Reaktionen über den Boden sind vorstellbar (Al/Mg-Antagonismus).

Die Schadphänomene selbst (z.B. Welketracht, Einrollen der Blätter bei Buche) wie die Messung der Wasserpotentiale an Buche und Fichte weisen außerdem auf Störungen des Wasserhaushalts hin.

Schlüsselworte:

Forstwirtschaft, Pflanzenernährung – Immissionen- und Nährstoffversorgung – N – P – K – Ca – Mg – Al – Fe – Mn – Cu – Zn – S – Co – Pb – Wasserhaushalt

Erst seit kurzem ist bekannt, daß Fichten, Tannen und Lärchen in den Hochlagen NO-Bayerns oberhalb ca. 700 m auf Granit-, Gneis- und Phyllitböden großflächig an Magnesiummangel leiden (*Zech* und *Popp* 1983). Da die Erkrankung vielfach einhergeht mit hohen Schwefelgehalten der Nadeln (bis 3000 ppm S), vermuten wir immissionsbedingte Schäden. Typisch ist eine gute bis sehr gute Stickstoff- und Phosphatversorgung der erkrankten Bestände; ihre Assimilationsorgane sind jedoch ausgesprochen arm an Calcium, Zink und in der Regel auch an Kalium. Nadelanalytische Hinweise auf Aluminium- und Eisentoxizität lassen sich nicht feststellen. Die Molybdänkonzentrationen liegen hoch. **Tabelle 1** (Analysen Nr. 1, 2, 3) enthält einige repräsentative Analysenbefunde, die jedoch an dieser Stelle nicht näher kommentiert werden (auch *Rehfuess, Bosch* und *Pfannkuch* (1982) sowie *Zöttl* (1983) konnten an Fichtenbeständen des Bayerischen Waldes bzw. des Schwarzwaldes vergleichbare Resultate nachweisen).

Da seit 1982 in NO-Bayern auch auf tiefer gelegenen Standorten umfangreiche Schäden an Bäumen auftreten, interessierte uns die Frage, ob diese Phänomene ebenfalls, wie in den Hochlagen, mit typischen Störungen des

Tabelle 1:

Blattanalytische Befunde von vermutlich immissionsgeschädigten Bäumen auf NO-bayerischen Standorten (Probenahme: Analysen 1–3 Winter 1981/82; Analysen 4–7 Winter 1982/83; Analyse 8 Juli 1983; Analyse 9 August 1982. Bei Koniferen: Entnahme von Nadeln des obersten Wirtels; bei Buche: Ausgewachsene Blätter des oberen Kronenteils. Analyse nach den üblichen Methoden)

Nr.	Beschreibung	% N	% P	% K	% Ca	% Mg	Al ppm	Fe ppm	Mn ppm	Cu ppm	Zn ppm	S ppm	Co ppm	Pb ppm
1 a	Fichte krank	1,57	0,20	0,54	0,12	0,025	81	45	475	2	13	2200		
1 b	Fichte gesund	1,54	0,21	0,47	0,31	0,055	64	53	1200	3	27	2400		
	Podsol aus Phyllitfließerde Forstamt Fichtelberg													
2	Tannen krank	1,51	0,15	0,47	0,58	0,034	157	70	780	4	26	-		
	Podsol aus Granitfließerde Forstamt Rehau													
3	Lärche krank	2,60	0,18	0,95	0,21	0,031	238	119	547	7	16	-		
	Podsol-Braunerde aus Granitfließerde Forstamt Kemnath													
4 a	Fichte krank	1,20	0,14	0,32	0,33	0,093	157	166	1573	4	28	840		
4 b	Fichte gesund	1,48	0,15	0,59	0,36	0,10	83	97	740	4	17	690		
	eutrophe Basaltbraunerde Forstamt Selb													

5 a	Fichte krank	0,99	0,13	0,22	0,13	0,044	63	74	459	6	7	730	0,10	2,57
5 b	Fichte gesund Podsol-Braunerde aus paläozoischen Schiefern Forstamt Bad Steben	1,16	0,12	0,38	0,27	0,061	77	70	1371	4	25	790	0,10	5,57
6	Fichte krank Pseudogley aus Liassandstein Forstamt Lichtenfels	1,19	0,10	0,34	0,36	0,10	119	124	3900	6	13			
7 a	Fichte krank	1,27	0,12	0,17	0,36	0,16	51	72	570	6	12			
7 b	Fichte gesund Terra fusca-Braunerde l. Albüberdeckung Forstamt Betzenstein	1,24	0,12	0,41	0,46	0,11	85	71	790	7	30			
8	Buche mit Intercostalchlorosen Hochlagen-Podsol aus Granit Forstamt Weißenstadt	1,93	0,15	0,52	0,19	0,031	109	257	151	13	19			
9	Buche mit Blatt- und Blattrandchlorose Saure Braunerde aus Gneis Forstamt Steinach	2,04	0,17	0,35	0,41	0,13	142	103	247	16	22			

Ernährungszustandes einhergehen. Von den Schadsymptomen her gesehen, lassen sich Unterschiede erkennen. Während für die Hochlagen die sogenannte „Spitzenchlorose" (gelbe Nadelspitzen besonders an älteren Assimilationsorganen) der Koniferen typisch ist, zeigen Fichten in niedriger gelegenen Beständen NO-Bayerns (aber auch auf der Münchner Schotterebene, auf den Moränen des Alpenvorlandes und in den bayerischen Kalkalpen selbst) typische Welkeerscheinungen (schlaffes Herabhängen der Triebe, Krümmen des Terminaltriebs, Zopftrocknis). Dazu gesellt sich häufig eine schwache Gelbspitzigkeit der älteren Nadeln, verbunden mit raschem Absterben und Abfallen.

Nach **Tabelle 1** gehen diese Phänomene einher mit niedrigen Kaliumblattgehalten, auch auf Böden, die nicht als Kaliummangelstandorte anzusprechen sind (*Zech* 1968). Die Magnesiumversorgung der untersuchten Fichten ist gut (Ausnahme: Analyse Nr. 5); ins Auge stechen wiederum die vielfach sehr niedrigen Zinkkonzentrationen. Vereinzelt treten Pilzinfektionen auf.

Auch die Befunde an Laubbäumen machen wahrscheinlich, daß auf den Hochlagenstandorten aus Granit, Gneis, Phyllit die Schädigungen in erster Linie mit Magnesiummangel korrelieren, bei gleichzeitig schlechter Calcium-, Zink- und Kaliumversorgung. In den tieferen Lagen NO-Bayerns enthalten die Blätter meistens zu wenig Kalium (Tab. 1, Analysen Nr. 9). Dieser Unterschied im Ernährungszustand äußert sich z. B. bei Buche sehr deutlich: In den Hochlagen mit 0,031 % Magnesium und 0,52 % Kalium in den Blättern treten goldgelbe Intercostalchlorosen auf, während in den tieferen Lagen bei Blattspiegelwerten von 0,13 % Magnesium und 0,35 % Kalium Blattspitzen- und Blattrandchlorosen und -nekrosen überwiegen.

Eine Erklärung für diese Resultate bieten die Begasungsexperimente von *Keller* (1983). Er konnte zeigen, daß niedrige SO_2-Konzentrationen von 65 µg/m³ – das entspricht der mittelren Jahresbelastung der NO-bayerischen Stadt Hof – Fichten meßbar schädigen. Ihre Photosyntheseleistung sinkt, gleichzeitig erhöht sich die Durchlässigkeit der Membranen. Schüttelt man mit SO_2 begaste Nadeln mit Wasser, so steigt die elektrische Leitfähigkeit. Vermutlich werden besonders Kalium, Magnesium, Zink und Calcium ausgewaschen. In dieselbe Richtung weisen auch die Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Studien von *Rehfuess* et al. (1982). D. h. es liegen direkte Schädigungen der Assimilationsorgane durch gasförmige Schadstoffe (SO_2, NO_x, O_3, u. a.) vor.

Wir meinen aber, daß es auch indirekte Schädigungen über den Boden gibt. Die NO-bayerischen Granit-, Gneis- und Phyllitböden gelten in der Landwirtschaft seit langem als Magnesiummangelstandorte. Das verstärkte Auftreten von Mg-Mangel auch in Forstbeständen könnte deshalb sehr wohl eine Folge der sauren Niederschläge sein, die einhergehen mit Reduktion der Magnesiumverfügbarkeit im Boden infolge erhöhter Aluminiumkonzentrationen. Jedenfalls gibt es Hinweise, daß die Standorteigenschaften eine modifizierende Rolle spielen, die im einzelnen noch genauer untersucht werden müssen.

Einen weiteren Hinweis auf direkte Schädigung der Assimilationsorgane durch Schadstoffe liefert die Analyse der Epikutikularwachs-Gehalte (HPTLC und Quantifizierung am Camag-Scanner; **Tabelle 2**).

Tabelle 2:
Epikutikularwachs-Gehalte in μg/cm²

	gesunde Fichten	kranke Fichten
rezente Nadeln	108	98
ältere Nadeln	93	72

Stets enthalten kranke Bäume niedrigere Gehalte.

Kranke Bäume haben nach ersten Analysenbefunden auch weniger Zucker in ihren Blättern (**Tabelle 3**), wobei sich besonders Glucose anreichert.

Tabelle 3:
Zuckergehalte kranker und gesunder Buchen (Relativwerte)

	Gesamt-zucker	Galactose	Glucose	Manose	Arabinose	Xylose
Buche gesund	100 (18,8 %)	4,6	61,2	4,5	9,6	20,0
Buche krank	100 (14,8 %)	5,6	80,6	1,9	3,3	8,6

Diese Ergebnisse sind noch nicht gesichert. Das gilt auch bezüglich der Aminosäuren, Phenole und Lipide.

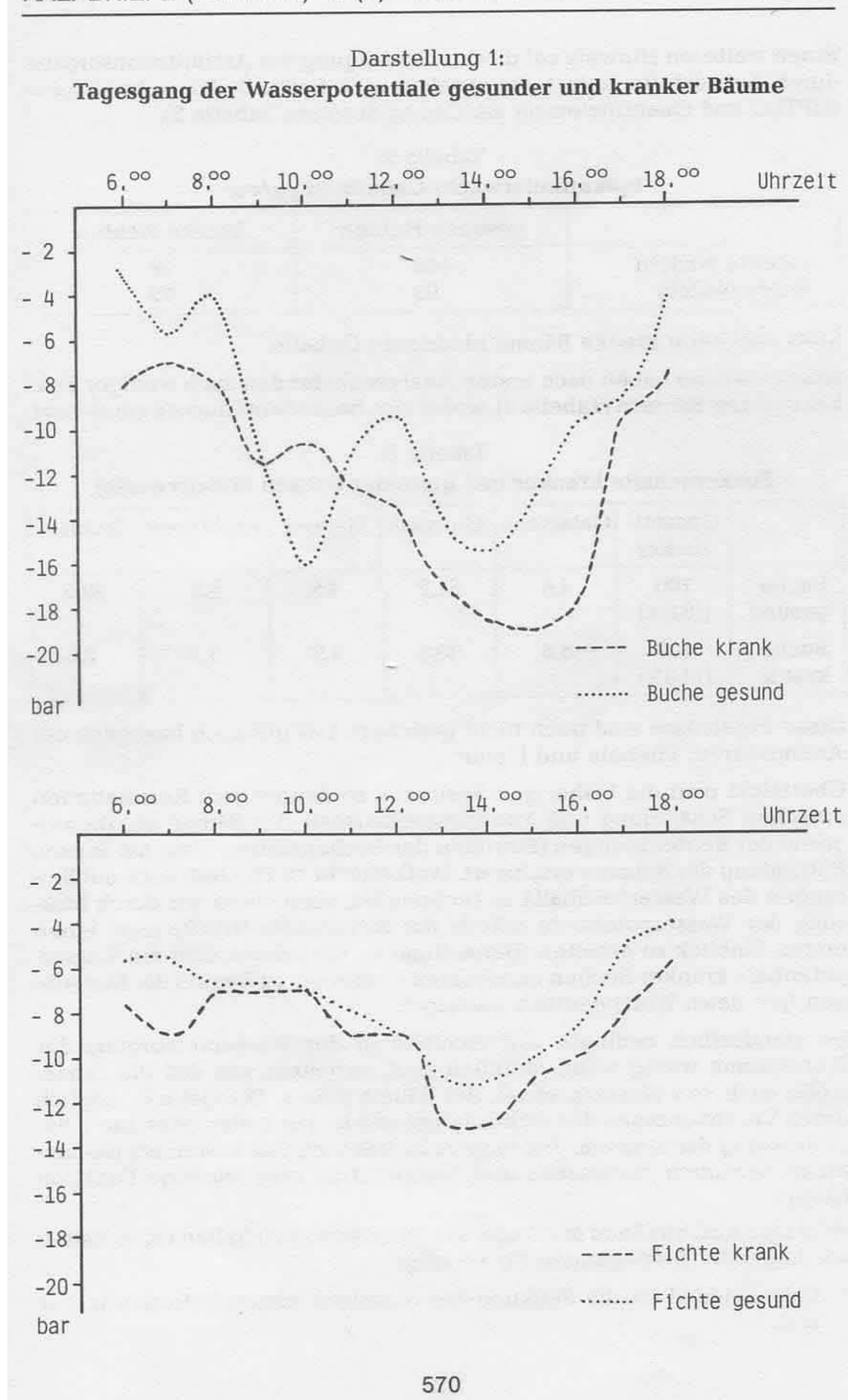
Überblickt man die bisherigen Resultate, so deuten sich Korrelationen zwischen Schädigung und Mineralstoffhaushalt der Bäume an. Da aufgrund der Beobachtungen (Einrollen der Buchenblätter, Risse am Stamm, Entrindung der Stämme erschwert, Welketracht an Fichten) auch mit Störungen des Wasserhaushalts zu rechnen ist, versuchten wir durch Messung der Wasserpotentiale mittels der Schollander-Druckpumpe einen ersten Einblick zu erhalten (**Darstellung 1**). Tatsächlich sind die Wasserpotentiale kranker Buchen und Fichten besonders zu Beginn der Messungen (pre dawn-Wert) deutlich niedriger.

Da standörtlich bedingte Unterschiede in der Wasserversorgung der Probebäume wenig wahrscheinlich sind, vermuten wir, daß die Schadstoffe auch den Wasserhaushalt der Bäume stören. Dies ist z. B. möglich durch Veränderungen der Elektrolytgehalte in den Zellen oder durch Beeinflussung der Stomata. Seit langem ist bekannt, daß besonders Kaliumionen bezüglich Turgeszenz und Transpiration eine wichtige Funktion haben.

Prüft man abschließend die Frage, wie den Bäumen zu helfen ist, so halten wir folgende Überlegungen für wichtig:

- Entscheidend ist die Senkung der Schadstoffkonzentrationen in der Luft.

Darstellung 1:
Tagesgang der Wasserpotentiale gesunder und kranker Bäume



- Im Experiment können wir durch Beschatten das Ergrünen und Gesunden der Bäume erreichen. Dies dürfte zusammenhängen mit reduzierter Transpiration und geringerer photochemischer Oxidation des Chlorophylls. Für die Praxis spielen diese Befunde derzeit noch keine Rolle.
- Durch Düngung mit Kalium- und Magnesium konnten bei Tannen positive Reaktionen wahrscheinlich gemacht werden (*Zech* 1983). An Fichte laufen die Experimente noch.
- Waldbauliche Maßnahmen, die die Rauhigkeit der Bestandesoberfläche erhöhen, sind möglichst zu unterlassen, weil dadurch das Auskämmen der Schadstoffe allem Anschein nach erhöht wird.

Literatur

KELLER, Th.: Ökophysiologische Folgen niedriger, aber langdauernder SO_2-Konzentrationen für Waldbaumarten. GSF-Bericht A 3/83, München (1983).

REHFUESS, K. E., BOSCH, G. und PFANNKUCH, E.: Nutrient imbalancies in coniferous stands in Southern Germany. Intern. Workshop on Growth Disturbances of Forest Trees, Iyvàskylä, Finnland (1982).

ZECH, W. und POPP, E.: Magnesiummangel, einer der Gründe für das Fichten- und Tannensterben in NO-Bayern. Forstw. Cbl. 102, 50–55 (1983).

ZECH, W.: Kalkhaltige Böden als Nährsubstrat für Koniferen. Dissertation Universität München (1968).

ZECH, W.: Kann Magnesium immissionsgeschädigte Tannen retten? Allgemeine Forstzeitschrift Nr. 9/10 vom 5. 3. 1983, S. 237 (1983).

ZÖTTL, H.: Mechanismen der Wirkung von Immissionen auf Waldökosystemen. GSF-Bericht A 3/83, München (1983).

Anschrift der Verfasser: Prof. Dr. W. Zech, Th. Suttner und R. Kotschenreuther, Lehrstuhl Bodenkunde, Universität Bayreuth, D-8580 Bayreuth